

Henryk DYJA

Anna KAWAŁEK

Politechnika Częstochowska

Andrzej MARANDA, Jerzy NOWACZEWSKI

Wojciech PRZETAKIEWICZ, Bogdan ZYGMUNT

Wojskowa Akademia Techniczna

BADANIA WYBUCHOWEGO UMACNIANIA WARSTW WIERZCHNICH SZYN
PRZEZNACZONYCH NA ELEMENTY ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH

Streszczenie. Umacnianie wybuchowe jest procesem technologicznym, który można zaliczyć do grup metod powierzchniowego utwardzania elementów maszyn. Uzyskiwana modyfikacja właściwości warstwy wierzchniej przynosi szczególnie wyraźny efekt w postaci zwiększenia żywotności tych części maszyn, których powierzchnie robocze narażone są na zużycie ściernie. Najbardziej efektywne, dotychczas stosowane metody umacniania wybuchowego dotyczyły obróbki takich elementów jak rozjazdy szynowe, zęby czerpaków koparek.

1. WPROWADZENIE

Umacnianie wybuchowe zalicza się do technologii, których celem jest podwyższenie właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych, a zwłaszcza ich odporności na ścieranie. Wynika to z możliwości wykorzystania silnych fal uderzeniowych do zdefektowania, względnie udoskonalenia struktury krystalicznej metali. Dzięki ogromnym gradientom ciśnienia, powstającym na froncie fali uderzeniowej, może nastąpić w metalu intensywne rozdrobnienie ziaren do granicznych wymiarów porównywalnych z szerokością tej fali. W ziarnach często obserwuje się podstrukturę o wysokim stopniu uporządkowania, o stosunkowo małej gęstości dyslokacji. Natomiast na granicach ziaren występuje bardzo duża gęstość tych defektów, co w pewnych przypadkach zbliża strukturę tych obszarów do stanu bezpostaciowego. W efekcie prowadzi to do podwyższenia twardości i w szczególności do wzrostu nawet dwukrotnego, odporności na ścieranie.

Największe efekty techniczno-ekonomiczne stosowania fal uderzeniowych do podnoszenia właściwości użytkowych zarejestrowano w przypadku obróbki tą metodą części maszyn rolniczych, kombajnów górniczych, rozkruszarek, rozjazdów kolejowych i innych elementów konstrukcyjnych, przeważnie wykonywanych ze stopów austenicznych (staliwa Hadfielda).

W literaturze krajowej i zagranicznej znajduje się dość duża ilość prac dotyczących zastosowania technologii wybuchowych do utwardzania różnych tworzyw metalowych [1-7]. Brak jest jednak informacji o parametrach technologicznych obróbki stali szynowych, takich jak rodzaj materiału wybuchowego (MW), grubość ładunku oraz sposób jego rozmieszczenia na wybranej powierzchni. Jak wiadomo, zmiana któregośkolwiek z wymienionych czynników wpływa na przebieg i skutki procesu umocnienia metalu, a więc na jego mikrostrukturę, twardość i głębokość utwardzonej warstwy.

W chwili obecnej, w kraju rozjazdy kolejowe wykonywane są ze staliwa Hadfielda oraz ze stali szynowych St90PA i St72P w Hucie im. K. Świerczewskiego w Zawadzkiem. Rozjazdy te dostarczane są do odbiorcy w stanie surowym (bez umocnienia). Poza granicami kraju, między innymi w ZSRR, rozjazdy kolejowe instaluje się w stanie umocnionym. W tym celu stosowana jest obróbka cieplna, w czasie której elementy rozjazdów nagrzewa się płomieniowo lub indukcyjnie, bądź stosuje się utwardzanie wybuchowe.

W kraju istnieją aktualnie dwie koncepcje umacniania rozjazdów kolejowych poprzez obróbkę cieplną. Realizacja tych koncepcji wymaga jednak nakładów inwestycyjnych rzędu kilkuset mln złotych.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań prowadzonych w Zakładzie Materiałów Wybuchowych Wojskowej Akademii Technicznej, we współpracy z Katedrą Przeróbki Plastycznej Metali Politechniki Częstochowskiej nad umacnianiem szyn kolejowych wykonanych ze stali St90PA i St72P. Próbkę obu stopów utwardzano stosując różne warianty obciążenia metodą wybuchową, po czym przeprowadzono analizę mikrostruktury oraz rozkładów twardości w warstwie wierzchniej stali.

2. METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były odcinki szyn S60 o długości około 1000 mm ze stali St90PA i St72P. Skład chemiczny i niektóre właściwości stali przedstawił w tabelicy 1. Do umacniania odcinków szyn użyto MW Platex-75, którego ważniejsze parametry zestawiono w tabelicy 2.

Materiał wybuchowy układano na górnej powierzchni główki szyny. Stosowano różne grubości warstwy ładunku MW, a proces umocnienia prowadzono jedno-, dwu- i trzykrotnie (tabelica 3).

Z umocnionych odcinków szyn wycięto poprzecznie próbki o grubości około 10 mm. Następnie szlifowano je na papierach ściernych i polerowano kolejno przy użyciu wodnej zawiesiny Al_2O_3 i pasty diamentowej. Tak przygotowane próbki poddano badaniom twardości (aparatem HPO-250, przy obciążeniu 294 N) i mikrotwardości (aparatem PMT-3, przy obciążeniu 0,99 N) stosując w obu przypadkach metodę Vickersa.

Tablica 1

Skład chemiczny i właściwości mechaniczne badanych stali

Gatunek stali	Zawartość w [%]					R_m [MPa]	A_5 [%]	HV	μ HV
	C	Mn	Si	P	S				
St90PA	0,90	1,10	0,45	0,045	0,045	920	12	280	216
St72P	0,55	0,70	0,35	0,045	0,045	750	13	268	181

Tablica 2

Parametry materiału wybuchowego Platex-75

Gęstość [g/cm ³]	Prędkość detonacji [m/s] w zależności od grubości ładunku [mm]				Warstwa krytyczna [mm]
	2	4	8	13	
1,50	7200	7400	7500	7500	1,5

Tablica 3

Warunki realizacji obróbki wybuchowej

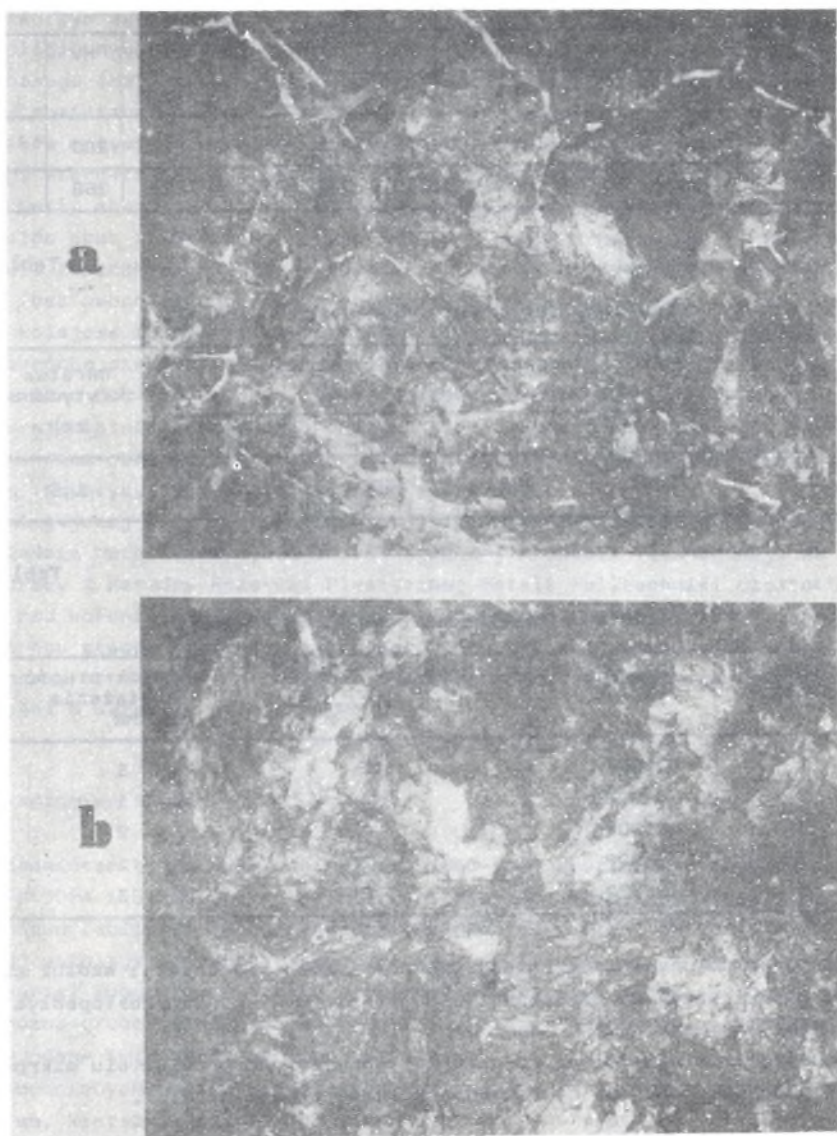
Numer próbki	Gatunek stali	Grubość ładunku MW [mm]	Wielokrotność obciążenia MW
1	St90PA	12	1
2	St90PA	4	1
3	St90PA	4	2
4	St82P	2	1
5	St72P	2	3

Pomiarów dokonywano na każdej próbce w dwóch kierunkach: wzdłuż szerokości główki szyny na głębokości 0,5 mm oraz w kierunku prostopadłym do jej górnej powierzchni.

Analizę metalograficzną struktur przeprowadzono przy użyciu mikroskopu świetlnego Reichert, po wytrawieniu zglądów próbek nitaliem.

3. WYNIKI BADAŃ

Stal St90PA w stanie wyjściowym posiada drobnoziarnistą strukturę perlityczną z niewielką ilością wydzielen cementytu drugorzędowego na granicach obszarów perlitycznych (rys. 1). W strefie podpowierzchniowej obser-



Rys. 1. Mikrostruktura stali St90PA w stanie wyjściowym
a - strefa podpowierzchniowa, b - rdzeń próbki pow. 500x

Fig. 1. Microstructure of the St90PA steel in the initial state
a - subsurface zone, b - sample core mag. 500x

wuje się pewne ilości ferrytu (rys. 1a), jako świadectwo odwęglenia będącego ubocznym skutkiem walcowania szyn na gorąco podczas obróbki metalurgicznej.

Stal St72P w stanie wyjściowym charakteryzuje się strukturą perlityczno-ferrytyczną (rys. 2), przy czym w strefie podpowierzchniowej ilościowy udział obu składników, perlitu i ferrytu, jest zbliżony. Zwiększona zawartość ferrytu (w stosunku do ilości równowagowej) wynika podobnie jak w przypadku stali St90PA z odwęglenia tej strefy, jakie nastąpiło w trakcie obróbki hutniczej.

Przykłady mikrostruktur obu gatunków stali St90PA i St72P, otrzymanych po umocnieniu warstwy wierzchniej metodą wybuchową przedstawiono na rysunku 3. Zauważono, iż w wyniku dynamicznego odkształcenia struktura perlityczna strefy podpowierzchniowej próbek stali St90PA uległa pewnemu rozdrobnieniu (rys. 3a), jednak zastosowana w niniejszej pracy metoda mikroskopii optycznej nie daje możliwości szczegółowej identyfikacji zmian podstruktury badanego materiału.

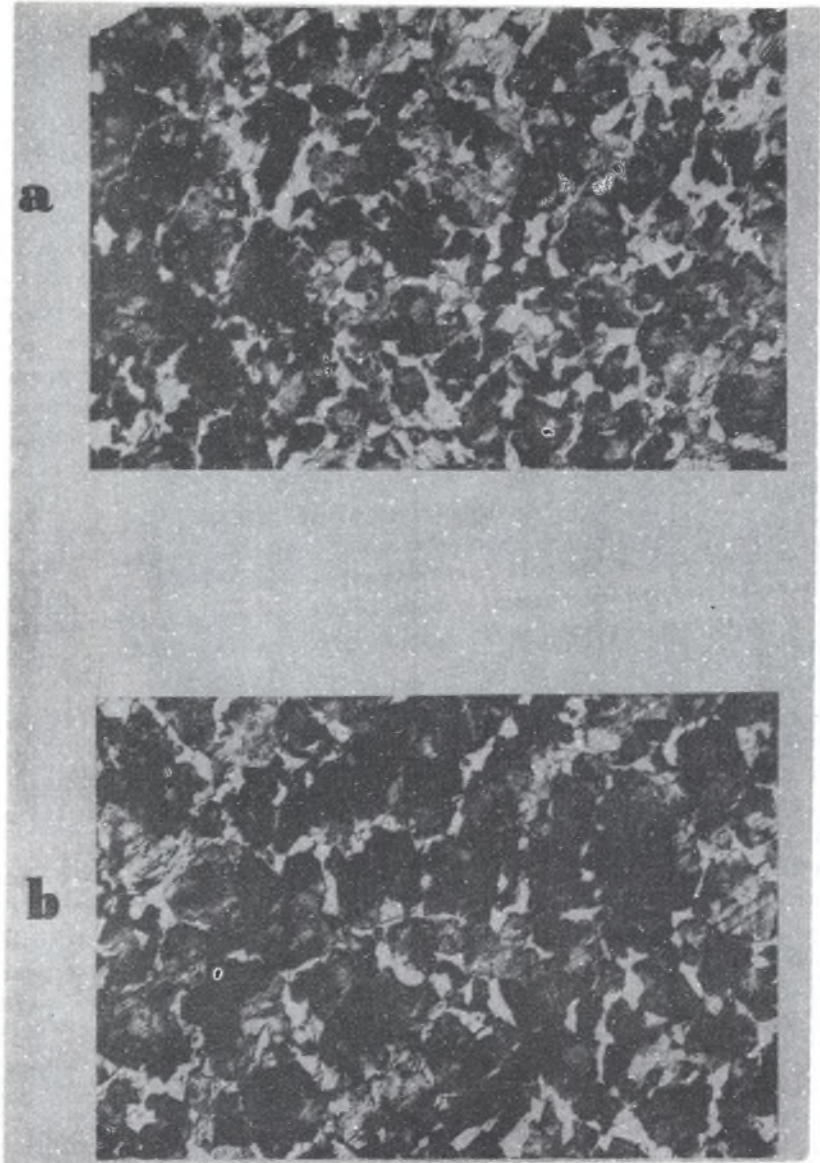
W stali St72P, po obciążeniu wybuchowym widoczne są w ziarnach ferrytu liczne, przecinające się pasma poślizgu, a niekiedy także bliźniaki odkształcenia (rys. 3b). Gęstość tych elementów podstruktury jest najwyższa w strefie podpowierzchniowej główki szyny, co znajduje makroskopowe odzwierciedlenie w wynikach badań rozkładu umocnienia w obrębie warstwy wierzchniej stali.

Z rezultatów pomiarów twardości stali St90PA i St72P wynika, że umocnienie tworzywa zmienia się w zależności od grubości ładunku MW i ilości dynamicznych obciążeń. Obciążenie ładunkiem o grubości warstwy 12 mm okazało się zbyt silne, odcinek szyny ze stali St90PA oznaczony jako próbka nr 1 uległa zniszczeniu.

W próbce nr 2 ze stali St90PA twardość główki szyny zmienia się wzdłuż jej szerokości od 295 do 328 HV (rys. 4a). Na głębokości 8 mm twardość stali wzrosła od 280 do 295 HV (rys. 4b). W strefie położonej w odległości 10-30 mm od powierzchni twardość jest mniejsza, zasadniczo nie przekracza wartości 290 HV. Na głębokości poniżej 30 mm umocnienie po zastosowanym obciążeniu wybuchowym (tablica 2) nie występuje.

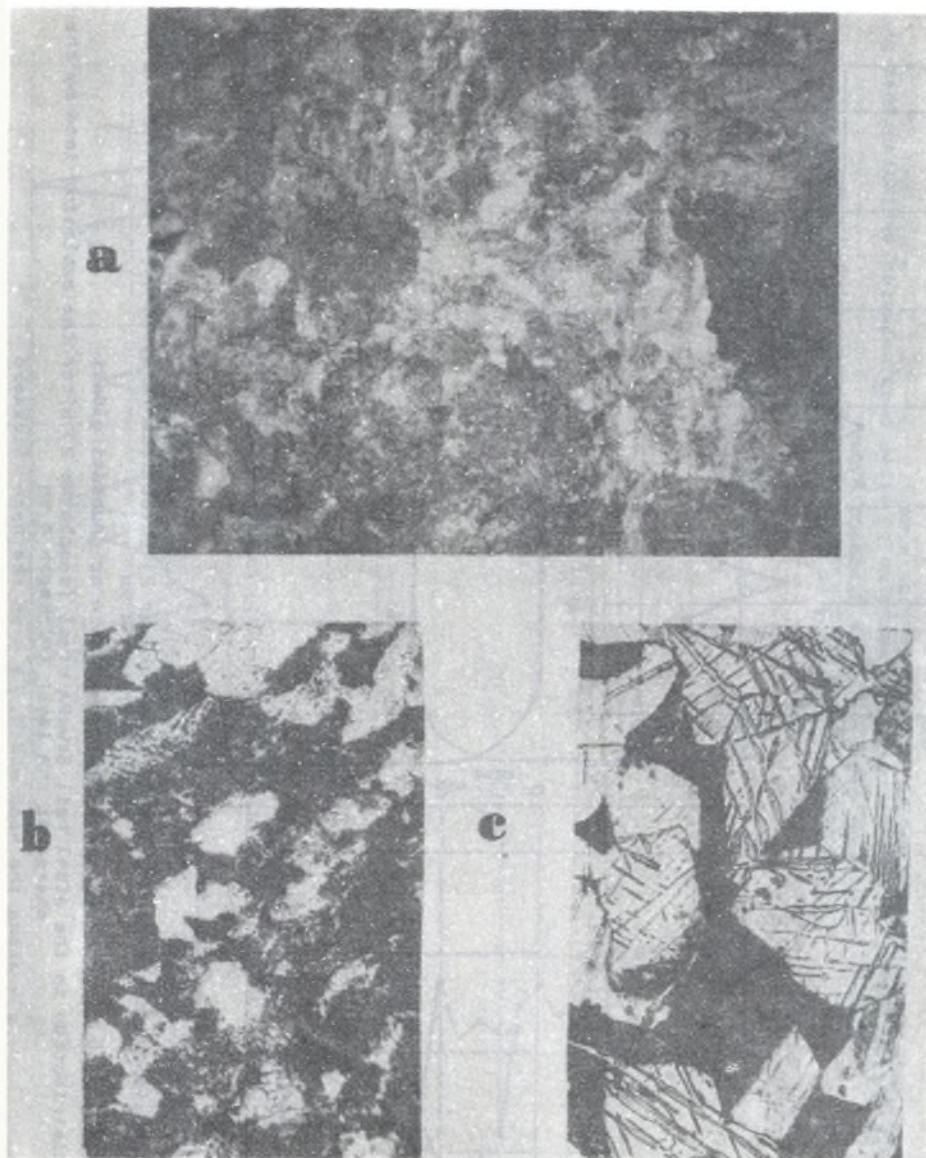
Większe umocnienie obserwuje się w próbce nr 3 (stal St90PA, obciążenie dwukrotne). W strefie podpowierzchniowej twardość zmienia się od 305 do 348 HV (rys. 5a). Z pomiarów wykonanych wzdłuż wysokości próbki (rys. 5b) wynika, że w tym przypadku umocnienie do wartości rzędu 300-332 HV występuje na głębokości do 12 mm. Poniżej, do głębokości 20 mm twardość próbki wynosi 290 HV.

Inny rozkład twardości obserwuje się w próbkach 4 i 5 wykonanych ze stali St72P. W przypadku próbki nr 4, w strefie popowierzchniowej główki szyny twardość waha się w zakresie 282-312 HV (rys. 6a). Analizując rozkład twardości w kierunku prostopadłym do powierzchni obserwuje się niewielkie umocnienie (do wartości 287 HV) do głębokości 30 mm (rys. 6b).



Rys. 2. Mikrostruktura stali St72P w stanie wyjściowym
a - strefa podpowierzchniowa, b - rdzeń próbki pow. 500x

Fig. 2. Microstructure of the St72P steel in the initial state
a - subsurface zone, b - sample core mag. 500x

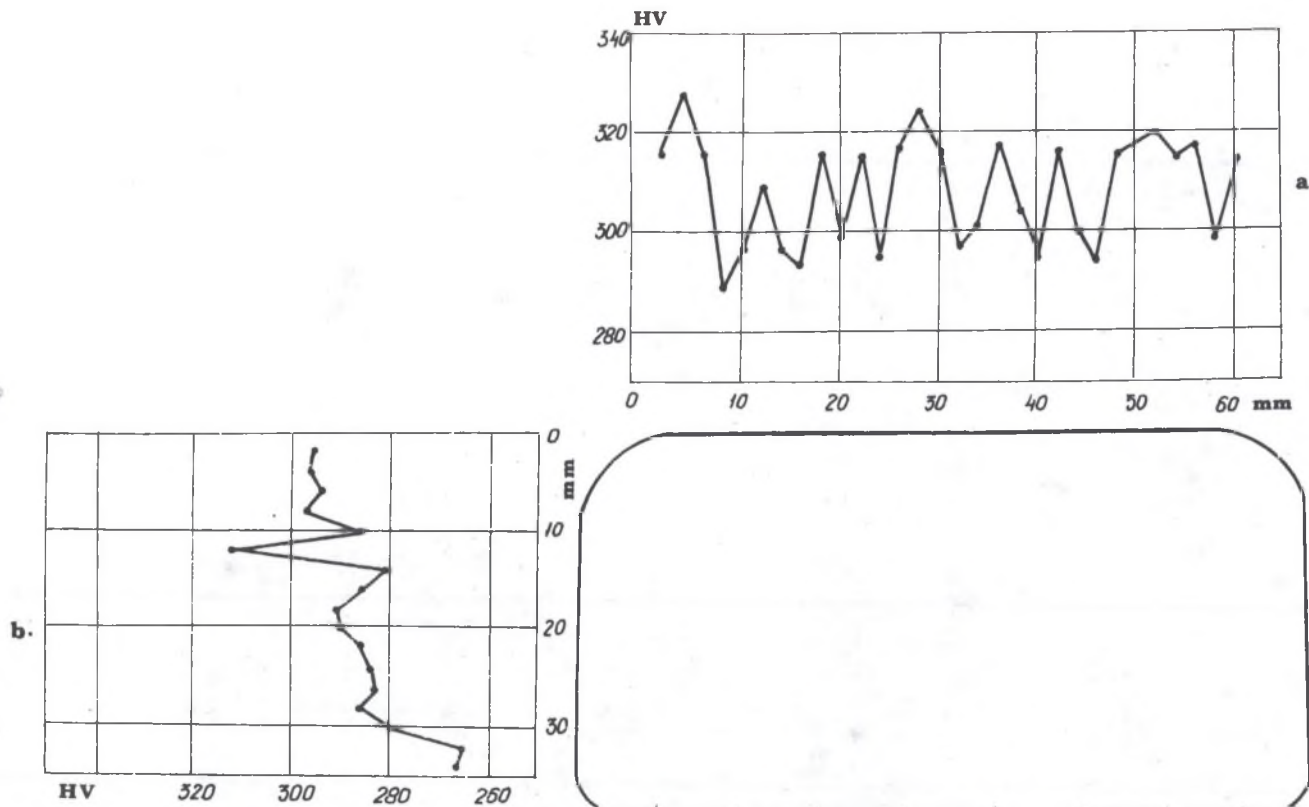


Rys. 3. Przykłady mikrostruktury warstw wierzchniej stali po obciążeniu wybuchowym

a - stal St90PA, ładunek MW o grubości 4 mm (pow. 500x), b,c - stal St72P, ładunek MW o grubości 2 mm (pow. 500x - b, pow. 1000x - c)

Fig. 3. The examples of the external surface layer microstructure of the steel after the explosive load

a - St90PA steel, explosive charge 4 mm thickness (mag. 500x), b,c - St72P steel, explosive charge 2 mm thickness (mag. 500x - b, 1000x - c)

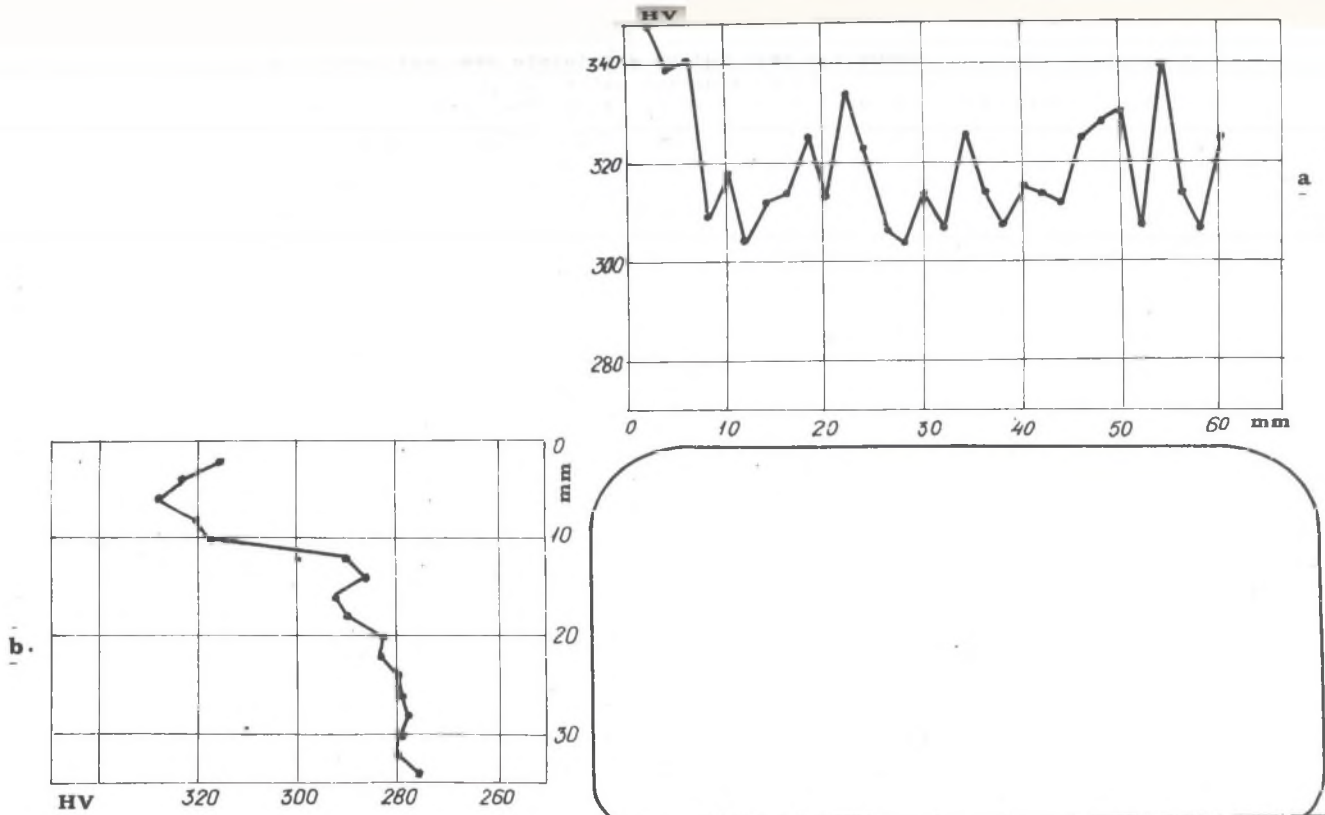


Rys. 4. Rozkład twardości w szynie ze stali St90PA (próbka nr 2) po obciążeniu wybuchowym ładunkiem o grubości warstwy 4 mm

a - wzdłuż szerokości główki, b - na grubości główki

Fig. 4. Hardness distribution in the steel rail St90PA steel (sample No 2) after the explosive load by the charge of the layer thickness 4 mm

a - along the head width, b - on the head thickness

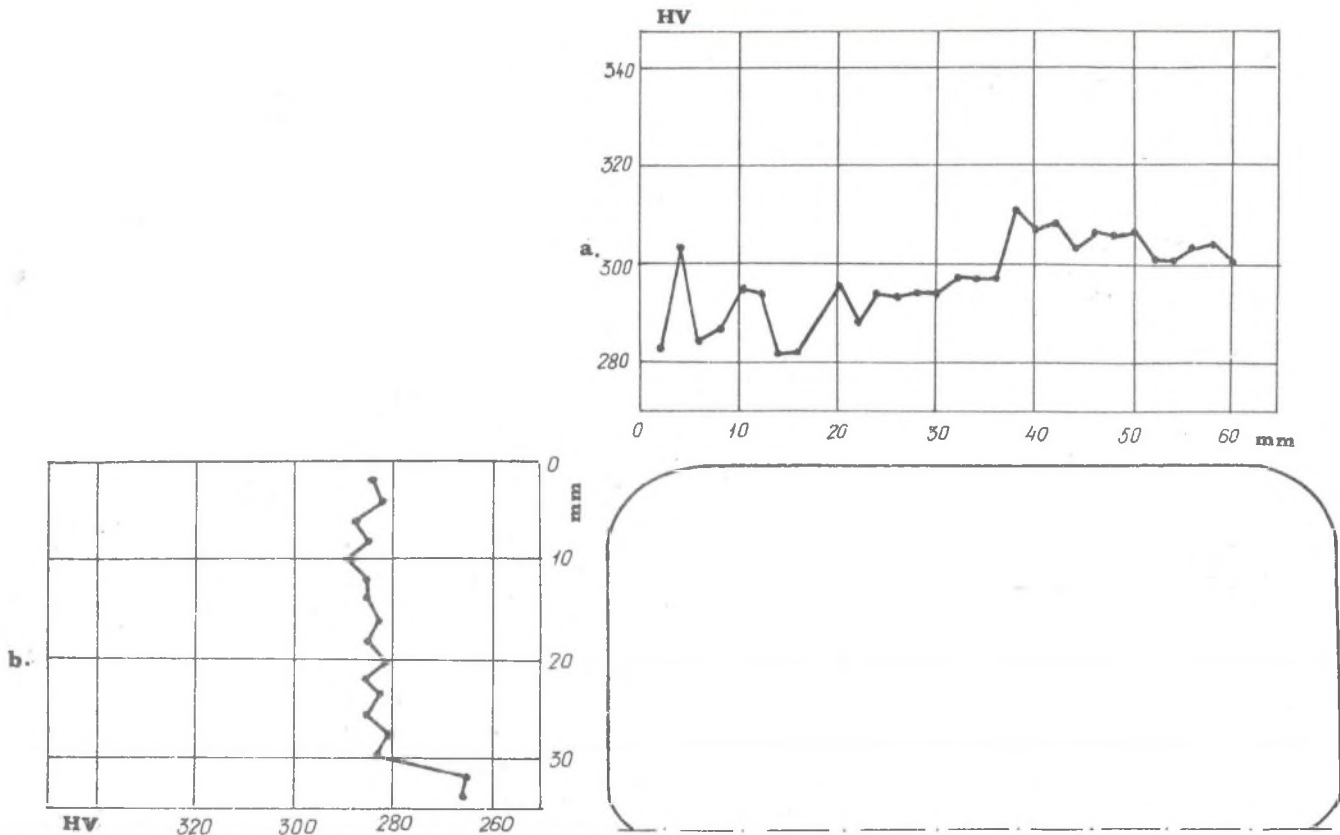


Rys. 5. Rozkład twardości w szynie ze stali St90PA (próbka nr 3) po dwukrotnym obciążeniu wybuchowym ładunkiem o grubości warstwy 4 mm

a - wzdłuż szerokości główki, b - na grubości główki

Fig. 5. Hardness distribution in the steel rail St90PA (sample No 3) after once repeated explosive load by the charge of the layer thickness 4 mm

a - along the head width, b - on the head thickness

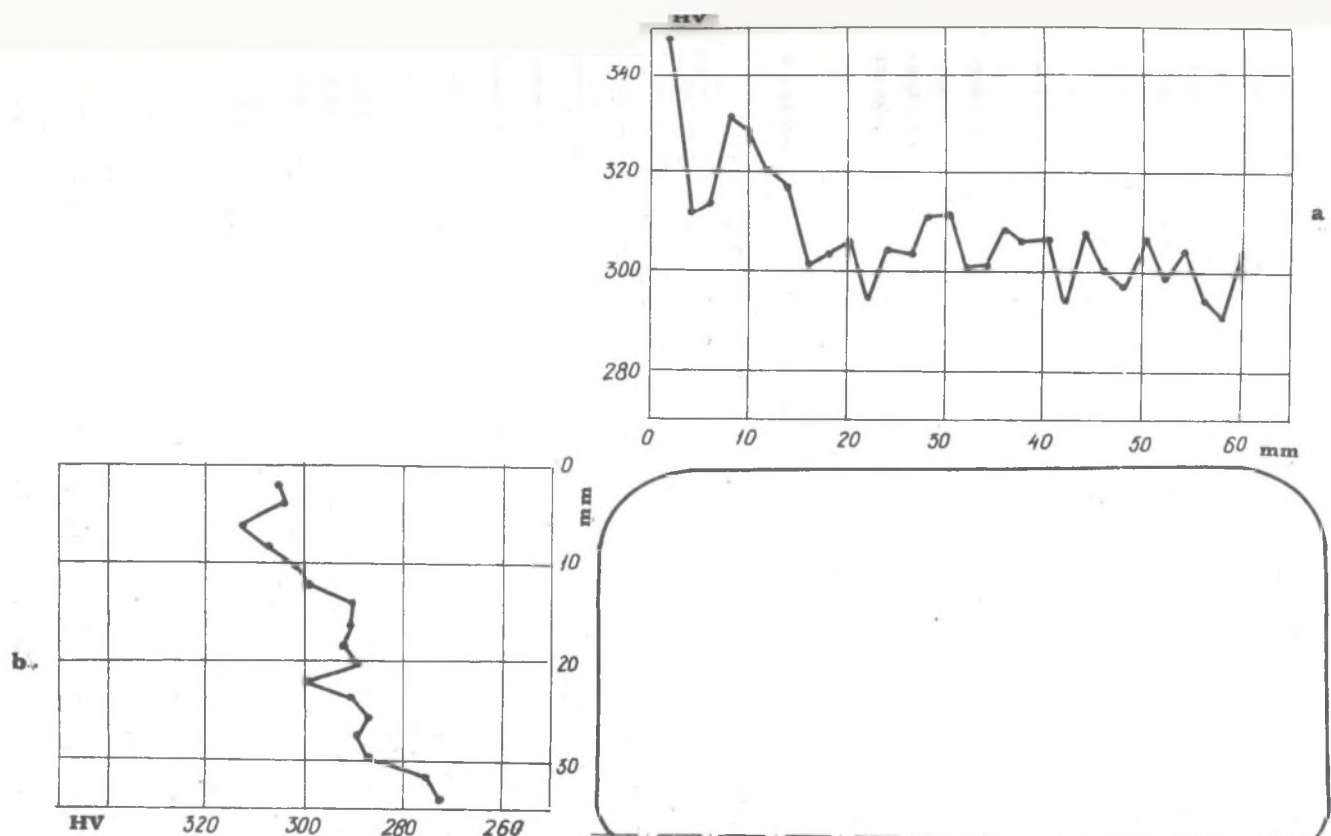


Rys. 6. Rozkład twardości w szynie ze stali St72P (próbka nr 4) po obciążeniu wybuchowym ładunkiem o grubości warstwy 2 mm

a - wzdłuż szerokości główki, b - na grubości główki

Fig. 6. Hardness distribution in the steel rail St72P (sample No 4) after the explosive load by the charge of the layer thickness 2 mm

a - along the head width, b - on the head thickness



Rys. 7. Rozkład twardości w ezynie ze stali St72P (próbka nr 5) po trzykrotnym obciążeniu wybuchowym ładunkiem o grubości warstwy 2 mm

a - wzdłuż szerokości główki, b - na grubości główki

Fig. 7. Hardness distribution in the steel rail St72P (sample No 5) after twice repeated explosive load by the charge of the layer thickness 2 mm

a - along the head width, b - on the head thickness

W porównaniu do próbki nr 4, próbka nr 5 wykazuje znacznie większy przyrost twardości warstwy wierzchniej. W strefie podpowierzchniowej twardość waha się w granicach 292–349 HV (rys. 7a). Strefa maksymalnie umocniona położona jest na głębokości około 10 mm, jej twardość wynosi 302–313 HV (rys. 7b).

Wyniki pomiarów mikrotwardości (μ HV) poszczególnych próbek obu stali, w warstwie wierzchniej do głębokości 10 mm, potwierdzają analizowane wyżej wyniki badań twardości (HV).

W główkach szyn ze stali St90PA mikrotwardość wzrasta średnio do 295 μ HV (próbka nr 2) i do 312 μ HV (próbka nr 3). W stali St72P mikrotwardość rozważanej strefy w wyniku obciążenia wybuchowego wzrasta średnio do 286 μ HV (próbka nr 4) i do 305 μ HV (próbka nr 5).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono względne zmiany twardości badanych próbek (w odniesieniu do twardości stali w stanie wyjściowym) wywołane obróbką wybuchową. Wyniki takiej oceny, dokonanej dla strefy położonej na głębokości 0,5 mm oraz dla warstwy wierzchniej o grubości 10 mm, zamieszczono w tablicy 4.

Tablica 4

Względne zmiany twardości stali wywołane obróbką wybuchową

Gatunek stali	Numer próbki	Wzrost twardości na głębokości 0,5 mm	Średni wzrost twardości na głębokości 0-10 mm	
		[%]	[%]	[%]
		HV	HV	HV
St90PA	2	11,1	5,3	21,7
	3	16,8	11,4	29,8
St72P	4	10,8	6,7	28,2
	5	14,9	13,8	42,0

Z danych liczbowych zawartych w tej tablicy wynika, iż przy jednokrotnym obciążeniu wzrost twardości materiału na głębokości 0,5 mm jest blisko dwa razy wyższy niż w całej objętości strefy położonej na głębokości do 10 mm. Łatwo to zauważyć analizując zmiany umocnienia próbek nr 2 i 4.

Różnica stopnia umocnienia obu rozpatrywanych stref warstwy wierzchniej znacznie zmniejsza się przy obciążeniu dwukrotnym (próbka nr 3, stal St90PA) i prawie zanika przy obciążeniu trzykrotnym (próbka nr 5, stal St72P).

Wynika stąd wniosek, że kilkakrotne obciążenie ładunkiem o mniejszej grubości jest zabiegiem korzystniejszym, albowiem pozwala uzyskać zarówno większy wzrost twardości, jak też bardziej równomierne umocnienie w objętości warstwy wierzchniej główki szyny.

Należy zaznaczyć, iż w stali St90PA, w próbce nr 2, po odkształceniu wybuchowym ujawniono mikropęknięcia, natomiast w próbce nr 3, dwukrotnie obciążonej ładunkiem MW o grubości tej samej (4 mm) jak w przypadku próbki nr 2 - pęknięcie o rozmiarach makroskopowych. Pozwala to wnioskować, iż stal tego gatunku, najprawdopodobniej z uwagi na wyższą zawartość węgla i większy udział cementytu w strukturze w stosunku do stali St72P, charakteryzuje się mniejszą przydatnością do umacniania odkształceniowego. W związku z tym, lokalnie w warstwie wierzchniej powstają nadmierne koncentracje naprężeń doprowadzające do utraty spójności materiału.

4. PODSUMOWANIE

W świetle wyników badań objętych niniejszą pracą należy stwierdzić, że przydatność stali St90PA do obróbki metodą wybuchową jest dyskusyjna. Problem ten zostanie ostatecznie rozstrzygnięty po przeprowadzeniu doświadczeń z użyciem MW o mniejszej grubości warstwy ładunku.

Natomiast zasadność umacniania wybuchowego stali St72P nie budzi wątpliwości. Uzyskano średni wzrost twardości warstwy wierzchniej rzędu kilkunastu procent, co może istotnie wydłużyć żywotność szyn. Niemniej, wprowadzenie omawianej technologii do obróbki elementów rozjazdów kolejowych wykonywanych z tego gatunku stali, wymaga przeprowadzenia dalszych badań, które miałyby na celu ustalenie optymalnych warunków obróbki wybuchowej (grubości ładunku i ilości obciążeń) oraz określenie poprzez trybologiczne próby - wywołanych tą drogą zmian trwałości głównie odporności na ścieranie i wytrzymałości zmęczeniowej.

LITERATURA

- [1] Rinehart J.S., Pearson J.: Explosive Working of Metals, New York, Pergamon Press Book, 1955.
- [2] Krupin A.V., Saloviev V.Ja., Šeftel M.I., Kobelev A.G.: Deformacija metallov vzryvom, Metalurgija, Moskva 1975.
- [3] Deribas A.A.: Fizika upročnienija i sverki vzryvom, Moskva 1980.
- [4] Babul W., Ziemia S.: Materiały wybuchowe w technologicznych procesach obróbki tworzyw. PWN, Warszawa 1972.
- [5] Babul W.: Odkształcenie metali wybuchem. WNT, Warszawa 1980.
- [6] Błazynski T.Z.: Explosive Welding, Forming and Compaction, London-New York, Applied Science Publishers (1983).
- [7] Deribas A.A.: Obrabotka materialov energiej vzryva, FGV, 1987, 23, 5, 148.

Recenzent: Dnc. dr hab. inż. Eugeniusz Świtoński

Wpłynęło do Redkacji 14.09.1989 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО УПРОЧНЕНИЯ ВЕРХНИХ СЛОЕВ РЕЛЬСОВ
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ НА ДЕТАЛИ СТРЕЛОЧНЫХ КРЕСТОВИН

Р е з ю м е

В работе представлено результаты измерений твёрдости, микротвёрдости и металлографическую анализу образцов рельсов марки С60 сделанных из сталей Ст90ПА и Ст72П упрочненных взрывом.

STUDY ON THE EXPLOSIVE STRENGTHENING OF THE RAILS SURFACE
LAYERS FOR TURNONT ELEMENTS

S u m m a r y

This paper presents the measurement results of the microhardness and the metallographic analyses of the rail samples (S60) made from St90PA and St72P steel after the explosive hardening.